Lane Medical Library

Aus der Abteilung für Zahn- und Kieferersatz (Leiter: Professor Dr. FALCK) des Zahnärztlichen Instituts (Vorstand: Professor Dr. KRANZ) der Universität München.

Die Gefügeveränderungen von Goldlegierungen in Abhängigkeit von Warm- und Kaltbearbeitung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
in der Zahnheilkunde

verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Bayerischen Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von

Wolfgang Zerweck
Zahnarzt aus Stuttgart

MÜNCHEN 1932

Bayerische Druckerei & Verlagsanstalt G. m. b. H., Müllerstraße 27

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40154014_0151

Von größter Bedeutung für die zahnärztliche Praxis ist die Kenntnis, wie sich bei der verschiedenen Bearbeitung der gebräuchlichsten Metalle das Gefüge und damit auch die Eigenschaft des Materials verändert. Ebenso wie jede metallverarbeitende Technik der Verarbeitung ihrer Werkstoffe ganz besondere Sorgfalt zuwendet und zuwenden muß, soll der Erfolg der Arbeit nicht in Frage gestellt werden, ebenso muß auch der Zahnarzt bei dem Weiterverarbeiten der von den Scheideanstalten gelieferten Goldlegierungen die Veränderungen kennen, die sein Material erleidet. Jede Legierung wird, ganz gleichgültig ob sie der Warmbehandlung, also dem Glühen oder Gießen oder der Kaltbearbeitung, also Prägen, Stanzen, Hämmern, Biegen, Ziehen usw. unterworfen wird, in bestimmten Grenzen verändert und diese Aenderung der Eigenschaft läßt sich nicht nur im Gefügebau nachweisen, sie ist auch durch ihn bedingt. Man kann mit größter Berechtigung behaupten, daß neben der Wahl eines für einen bestimmten Zweck geeigneten Materials, die Art seiner Behandlung für den Enderfolg der Arbeit mindestens ebenso wichtig ist, denn unsachgemäße Behandlung vermag auch das beste Material unbrauchbar zu machen. Da Goldlegierungen, die vom Zahnarzt meist verwandten Metalle sind, habe ich diese in verschiedenster Weise warm und kalt behandelt, um aus den Gefügebildern auf die Eigenschaft schließen zu können, die ein bestimmter Arbeitsgang auslöst. Bekanntlich werden die Metalllegierungen zum größten Teil durch Zusammenschmelzen der reinen Metalle nach bestimmten Mengenverhältnissen gewonnen. So wie sich die erstarrten reinen Metalle unter dem Mikroskop aus regelmäßig oder unregelmäßig geformten Kristallen aufgebaut erweisen, so erstarren auch alle Legierungen bei der Erkaltung aus dem Schmelzfluß in Form einer kristallisierten Materie. Man könnte, um ein Beispiel zu erwähnen, den Aufbau mit dem von Granit vergleichen. Das kristalline Gefüge wird durch thermische und mechanische Behandlung weitgehend beeinflußt und damit auch die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der metallischen Stoffe verändert. Bei der mikroskopischen Untersuchung zeigt also jede Legierung ein Kristallgefüge, deren gegenseitige Begrenzungsflächen als Korngrenzfläche bezeichnet werden. Interessant ist, daß die Stoffe beim Uebergang der Legierung aus dem einen Zustand in den anderen spontan zu kristallisieren vermögen. Die Kristallbildung geht dabei von kleinen Zentren aus, die man als Kristallisationszentren bezeichnet. Aus diesen Kristallisationszentren oder Keimen entwickeln sich, je nach den physikalischen Bedingungen

verschieden große Kristallkörner. Die Korngröße wird ferner beeinflußt von dem spontanen Kristallisationsvermögen des verwendeten Materials. Zum Beispiel haben Au-Ag-Cu-Legierungen die Tendenz verhältnismäßig große Kristalle zu bilden, während die platinhaltigen Legierungen unter den gleichen Bedingungen mehr zur Bildung feinkörnigen Gefüges neigen. Es ist nun ersichtlich, daß auch die Zusammensetzung der Legierungen in hohem Maße die Korngröße beeinflußt.

Die Korngröße spielt in der Technologie der Metalle eine große Rolle, da sie deren Eigenschaft sehr zu ändern vermag. Die Forderung kleinkristallinen Gefüges der zahnärztlichen Metallarbeiten entspringt der Erkenntnis, daß mit zunehmender Feinheit der Kristalle die mechanischen Festigkeitseigenschaften größer werden. Dies wird bedingt durch die innige Verzahnung des ganzen Gefüges bei Vorhandensein feinen Kornes. Durch geeignete Behandlungsweisen können so die mehrfachen Werte der Festigkeitszahlen erreicht werden. Es gilt in der Metallphysik ganz allgemein, daß die gezogenen Drähte die größten, die gegossenen metallischen Stoffe die geringsten Festigkeitswerte zeigen. Die Festigkeit und Härte nimmt also bei Kaltbearbeitung einer Legierung zu, was meist mit Erhöhung der Sprödigkeit verbunden ist, dagegen nimmt die Dehnbarkeit und Bearbeitungsfähigkeit ab. Werden die Metalle gewalzt oder zu Draht gezogen, so strecken sich die Kristalle, was schließlich zu einer Zerstörung derselben führen kann. Die Elastizität ist also hauptsächlich von der Härte bzw. Festigkeit abhängig, wobei die engverbundenen Eigenschaften so bedeutungsvoll werden, daß das Metall, z. B. Draht, nicht mehr biegungsfähig ist. Nur auf Kosten eines gewissen Grades von Festigkeit sowie Elastizität kann sich die Biegungsfähigkeit erlangen lassen.

Wie der Gefügebau durch mechanische Bearbeitungsweise beeinflußt werden kann, so wird dieser auch durch Temperaturen verändert. Man kann bekanntlich einen Draht, bestehend aus einer Goldlegierung, wenn er sich als zu starr oder zu unnachgiebig erweist, mit Leichtigkeit weich machen, indem man ihn auf Rotglut erhitzt (etwa 700°) und dann in Wasser abschreckt. Nach dieser thermischen Behandlungsweise verliert er seine Elastizität bis zu einem gewissen Grad und läßt sich leicht biegen und formen, ohne daß danach ein Bruch zu befürchten ist. Nachdem der Draht seine Form erhalten hat, wird er wieder gehärtet, indem man ihn vergütet.

Diese verschiedenen Festigkeitseigenschaften der Legierungen sind in der Gefügeausbildung begründet. Der Zahnarzt kann bei Kenntnis der Gefügeveränderungen nach verschiedener Bearbeitungsweise an der Art des Gefüges auf die mechanischen Eigenschaften seines Materials schließen.

Meine Aufgabe besteht nun darin, die Gefügeveränderungen von Goldlegierungen bei verschiedener Bearbeitung zu zeigen. Um aber das Gefüge der zu untersuchenden Proben mikroskopisch sichtbar zu machen, müssen dieselben verschiedenen Arbeitsprozessen unterworfen werden. Die Grundidee ist die, einen Metallkörper zu schleifen und auf Hochglanz zu polieren, welchen Maßnahmen sich dann ein Aetzverfahren anschließt.

Das Schleifen.

An den zur Untersuchung bestimmten Metallobjekten werden Flächen angeschliffen, was mit Schmirgelpapier auf einer Glasplatte geschieht. Um eine gute und glatte Schliffläche zu erhalten, ist ein Satz Schmirgelpapiers bis zu Nr. -00000- (5/0) notwendig. Man geht beim Schleifen allmählich von gröberen Schmirgelblättern zu feineren bis zu 5/0 über. Man kann auf diese Weise auch härtere Legierungen wie Pt-haltige präparieren, es gehört nur ziemlich Geduld dazu. Beim Uebergang auf die nächstgehende feinere Schmirgelsorte muß der Schliff um 90° gedreht werden und dann auf dieser Nummer so lange bearbeitet werden, bis die querlaufenden Kratzer von dem vorher verwendeten gröberen Papier verschwunden sind. Der Schliff selbst muß bei jedem Wechsel des Schmirgelpapiers von anhaftenden Schmirgelkörnchen befreit werden, da dieselben den feineren Schliff beeinträchtigen. Es wird häufig auch der Fehler gemacht, daß auf den feinsten Nummern nicht lange genug geschliffen wird.

Gute Erfolge hatte ich auch bei Verwendung von feinstem geschlämmten Schmirgel unter Zusatz von Wasser. Ich habe dabei oft bessere Resultate erzielt als bei Verwendung von Schmirgelpapier oder Schmirgelleinen. Dabei erfolgt das Schleifen am besten auf einer Glasplatte (oder wenn vorhanden auf einer einwandfrei geschliffenen Stahlplatte), der letzte Schliff — ebenfalls mit feinstem Schmirgel oder Tripel — auf einem Blatt Papier, das auf die Glasplatte gelegt wird.

Mit dem Polieren darf erst begonnen werden, wenn eine nahezu rißfreie Schliffläche erreicht worden ist.

Das Polieren.

Die Proben und Finger werden gewaschen, um jedwede Reste losgelöster Schmirgelpartikeln zu entfernen, und das Polieren auf einer mit Tuch bespannten, rotierenden, planen Metallscheibe kann beginnen. Man kann auch auf irgendeinem Poliermotor eine Holzscheibe von etwa 20 cm Durchmesser anbringen, die mit Tuch bespannt wird, welches es besonders für diese Zwecke in Fachgeschäften gibt. Die Scheibe muß während des Polierens mit Wasser naß gehalten werden. Wichtig ist eine plane Scheibe deshalb, weil nur mit dieser ein Schliff zu erhalten ist, der als Oberfläche eine

Ebene und nicht eine Kurve zeigt. Nichtebene Schliffe weisen im späteren Bild verschwommene Zeichnung auf. Als Poliermittel werden entweder wässerige Aufschlämmungen von Tonerde benutzt, oder ein Poliermittel „Poliros", das speziell für Silber- und Goldlegierungen geeignet ist, unechte Metalle dagegen angreift. Bei meinen ersten Versuchen verwendete ich geschlämmte Tonerde, erzielte aber dabei keine guten Resultate. Deshalb bespannte ich die Metallscheibe mit feinstem (dünnem, äußerst weichem) Wildleder und polierte unter Zuhilfenahme von Polierrot (Eisenoxyd), wobei ich gute Erfolge hatte. Bei der Unterlage ist zu beachten, daß je dünner dieselbe ist, um so planer die Schliffläche wird, bei stärkerer Unterlage zeigt sich unter dem Mikroskop stets etwas Reliefbewegung. Die Scheibe darf nicht mehr als 200 bis 300 Umdrehungen in einer Minute machen, da sonst leicht Risse entstehen, auch soll das Polierstück nicht stark angedrückt werden. Die Dauer des Polierens hängt ganz von dem Erfolge ab. Ich habe manche Probestücke in einigen Minuten spiegelnd und rißfrei bekommen, während andere ¼ bis ½ Stunde Zeit beanspruchten. Es gehört viel Uebung und Geduld dazu, bis man richtig vorgeht. Poliros kann auch bei Wildleder angewendet werden, es brauchen nur einige Tropfen darauf gebracht werden. Um Risse zu vermeiden, ist noch zu beachten, daß das Wildleder möglichst staubfrei aufbewahrt wird. Um die Uebertragung von Schmirgelteilchen auf das Wildleder zu vermeiden, ist es notwendig, den Schliff vor dem Uebergang vom Schleifen zum Polieren gut abzuklopfen und am besten mit einem kräftigen Wasserstrahl abzuspülen. Wenn nun der Schliff eine vollständig spiegelglatte Oberfläche aufweist, wird das Polieren unterbrochen und der Schliff mit einem sauberen Poliertuch sorgfältig fettfrei gerieben. Zweckmäßig ist es, wenn man den Fortschritt des Polierens durch Betrachtung unter dem Metallmikroskop verfolgt. Die Horizontalpoliermaschine kann ebenfalls für das Feinschleifen verwendet werden.

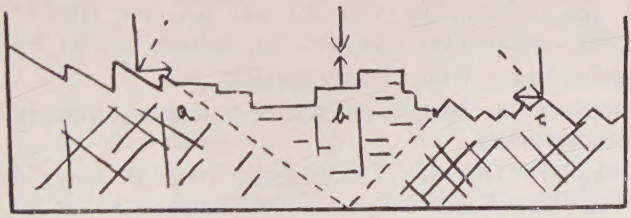
Das Aetzen.

Das Gefüge der Metallschliffe wird durch Aetzen sichtbar gemacht. Durch Anätzen mit chemisch wirksamen Mitteln sucht man Lösungsunterschiede hervorzubringen, die im mikroskopischen Bilde infolge der verschiedenen Lichtreflexion der Metallkörner die Art und Anzahl der Kristalle bestimmen lassen. Die gebräuchlichsten Aetzmittel für Goldlegierungen dürften Salzsäure und Salpetersäure sein. Ein Gemenge von diesen beiden Säuren heißt Königswasser. Ich verwandte dasselbe mit folgender Mischung:

1 Vol. konzentr. Salpetersäure
2 Vol. konzentr. Salzsäure
3 Vol. Wasser.

Vor Gebrauch dieses Königswassers erhitzte ich es bis kurz vor dem Siedepunkt in einem Porzellanschälchen. Den Schliff, welchen ich mit einer Holzpinzette hielt, tauchte ich in schräger Richtung in die Säure. Das schräge Eintauchen des Schliffes in die Säure bewirkt eine Reihe Aetzstufen, vermeidet damit am wirksamsten ein Ueberätzen und bietet den Vorteil, unter dem Metallmikroskop die besten Stellen heraussuchen zu können. Sobald die Schlifffläche beim Aetzen trübe wurde, was oft nach Sekunden geschah, spülte ich den Schliff sofort in Wasser, welches immer in einer Schale am Arbeitsplatze bereitstehen muß. Nun wischte ich die geätzte Fläche mit einem ammoniakgetränkten Wattebausch ab, um so die gebildete Chlorsilberschicht (bei silberlegierten Objekten) zu entfernen. Zu beachten ist dabei, daß eher zu kurz geätzt werden soll als zu lange, da man im ersteren Falle das Aetzen nur zu wiederholen braucht, während im zweiten Falle frisch poliert werden muß. Ich habe bemerkt, daß die Widerstandskraft gegen Aetzangriffe nach Ausglühen der Metalle erhöht wurde, kalt bearbeitete oder beanspruchte Legierungen dagegen dem Aetzangriff leichter zugänglich sind. Bei den mikroskopischen Untersuchungen muß die Schlifffläche zur Mikroskopachse senkrecht liegen. Dies wird erreicht, indem man mit Hilfe zweier Glasplatten die Schlifffläche planparallel auf den Objektträger mit Wachs, Kerr oder Plastilin aufkittet, was durch Zusammendrücken bei parallelem Stande der Glasplatten erreicht wird. Im Mikroskop wird dadurch ein gleichmäßig scharfes Bild erzielt.

Folgende schematische Abbildung soll die Aetzwirkung an Schliffen wiedergeben:



Die Abbildung stellt einen Schnitt senkrecht zur Schlifffläche dar. Jeder Kristall wird entsprechend der Lage seiner Achsen zur Schlifffläche anders angeätzt. Der Kristall b wird z. B. infolge der günstigen Lage der reflektierenden Flächen mehr Licht in der Richtung der optischen Achse (senkrecht zur Schlifffläche) zurückwerfen als die Kristalle a und c, bei denen die reflektierenden Flächen ungünstiger gelegen sind. Infolgedessen wird bei einer Beleuchtung senkrecht zur Schlifffläche der mittlere Kristall heller erscheinen als die beiden übrigen. Die Helligkeitsunterschiede werden also hervorgerufen durch gesetzmäßige treppenartige Ausfressungen, die mit der Metallstruktur in innigem Zusammenhang stehen.

Mikrophotographie.

Das von mir gebrauchte Metallmikroskop ist für photographische Aufnahmen und unmittelbare Beobachtung von Schliffen zu verwenden.

Die Einstellung des Apparates bei meinen Aufnahmen war folgende:

Optik	Objektiv	14 mm
	Periplan-Okular	8 ×
	Balgauszug	275 mm

Die Vergrößerung meiner Bilder ist 130 linear. Da meine Aufnahmen alle unter denselben Bedingungen aufgenommen wurden, können sie miteinander zum Vergleich herangezogen werden.

Versuche:

Für meine Versuche verwandte ich 18- und 20kar. Gold sowie Orthallor, d. i. eine etwa 8% Platin enthaltende vergütbare Goldlegierung.

Einteilung:

1. 20kar. Goldblech. 0,3 mm Dm. (mit Tinnol auf Messingwürfel gelötet).
2. 20kar. Gold (mit Goldlot auf Messingwürfel gelötet).
3. 18kar. Goldblech in Blockform gegossen 3,3 mm Dm., langsam abgekühlt.
4. 18kar. Goldblock (1 Std. + 2½ Std.) = 3½ Std. getempert.
5. Teil des Goldblockes von 3,3 auf 0,8 mm (75%) heruntergewalzt; gehämmert und gewalzt, jedoch nicht geglüht.
6. Dasselbe Stück (von 5) durchgeglüht.
7. Dasselbe Stück (von 5) eingesägt und diese Rille mit Goldlot ausgeschwämmt.
8. Der andere Teil des Goldblockes (von 4) unter Hämmern, Durchglühen, Abschrecken, zu Draht gezogen. 1,3 mm Dm.
9. Orthallor-Gußplättchen (1,55 mm Dm.) im Anlieferungszustand.
10. Orthallorgußplättchen geglüht.
11. Orthallorgußblock (2,5 mm Dm.) bei Dunkelrotglut abgeschreckt, unvergütet.
12. Orthallorgußblock vergütet.
13. Orthallorgußblock auf 700° geglüht und 30% in einer Richtung heruntergewalzt (0,8 mm Dm.).
14. Das Orthallor von 13 vergütet.

Alle diese Versuche wurden geschliffen, auf Hochglanz poliert, mit Königswasser geätzt und mikrophotographiert.

Abbildung 1.

1. 20kar. Goldblech, dessen Cu-Ag-Komponente ungefähr gleich groß sind, in der Stärke von 0,2 mm, wurde, so wie es die Scheideanstalt liefert, mit Weichlot auf einen Messingblock gelötet. Die Erhitzung beim Löten mit Weichlot überschreitet die Temperatur von 150° nicht, und da die Dauer der Temperaturerhöhung auch nur sehr kurz ist, erscheint das Korngefüge so, wie es tatsächlich im Anlieferungszustand des Bleches ist. Wir sehen also ein kleinkörniges Gefüge, bei dem sich die einzelnen Kristalle einander mit Flächen berühren. Das Material zeigt in diesem Zustande verhältnismäßig gute elastische Eigenschaften und besitzt auch eine gewisse Härte. Die auf manchen Kristallen sichtbaren parallellaufenden dunklen oder hellen Einschlüsse sind sogenannte Zwillingslamellen, die dann entstehen, wenn das Material überelastisch beansprucht wird. In diesem Fall (Abb. 1) sind sie wohl durch das Walzen entstanden. Sie entstehen dann, wenn der einzelne Kristall nach einem gewissen Gleitliniensystem zu fließen beginnt.

Abbildung 2.

2. Wenn dasselbe Präparat (siehe Abb. 2) längere Zeit höheren Temperaturen, die bis nahe an den Schmelzpunkt herangehen, ausgesetzt ist, erfolgt eine Aenderung der mechanischen Eigenschaften in dem Sinne, daß das Material weicher und duktiler, also weniger elastisch wird. Diese Eigenschaftsänderung, bewirkt durch Glühen, machen wir uns dann nutzbar, wenn wir ein Blech durch Biegen oder Prägen in eine bestimmte Form bringen wollen, wobei wir Wert darauf legen, daß diese Form in demselben Ausmaße bestehen bleibt, wie wir sie durch Biegen bis zu einem bestimmten Grade erhalten haben. Wir wollen also mit anderen Worten erreichen, daß nicht ein Zurückschnellen in die frühere Form erfolgt, wie das bei hochelastischen Materialien der Fall ist. Das Präparat der Abb. 2 wurde diesmal wieder auf einen Block gelötet, jedoch im Gegensatz zu dem der Abb. 1 nicht mit Weichlot, sondern mit Hartlot, d. h. einem Lot, dessen Schmelzpunkt nur um etwa 50 bis 100° unter dem des Bleches liegt. Wir sehen nun in der Abb. 2 erheblich größere, auch wieder sich mit Flächen berührende Kristallkörner liegen. Und diese Veränderungen in der Struktur bedingen auch die Qualitätsänderung, das heißt die geringeren Festigkeitseigenschaften des so behandelten Werkstückes. Diese Vergrößerung im Kristallgefüge, bedingt durch die Wärmebehandlung, ist auf einen Vorgang zurückzuführen, den man als Rekristallisation oder Einformung bezeichnet; d. h. unter dem Einfluß der Temperatur vermag ein vorher kalt beanspruchtes Material sein Gefüge derartig zu verändern, daß einzelne Kristalle auf Kosten ihrer Nachbarn anwachsen. Die Kaltbeanspruchung ist in diesem Fall durch das Auswalzen des Bleches

auf eine Stärke von 0,2 mm erfolgt. Diese Erscheinung der Einformung findet sich bei allen Goldblechen, wenn sie in der vorgeschilderten Weise behandelt worden sind, ganz unabhängig von dem Goldgehalt. Das mehr oder minder große Anwachsen der Kristalle ist abhängig von dem Grad der Kaltbeanspruchung und von der Dauer und dem Grad der Temperaturerhöhung. Sie findet sich dagegen nicht, wenn ein vorher nicht kaltbearbeitetes Material auch noch so lange irgendwelchen Temperaturen ausgesetzt wird. Also in allen den Fällen, wo ein Goldguß weiter mit Wärme behandelt wird. Infolgedessen sind auch alle gegossenen Metalle und Legierungen den kaltbearbeiteten oder beanspruchten in ihren Festigkeitseigenschaften unterlegen.

Abbildung 3.

3. Das nächste Bild zeigt das Korngefüge eines gegossenen Stückes. Das Ausgangsmaterial war hier wieder ein Blech. Diesmal 18kar., und zwar so legiert, daß die Kupferkomponente größer als die Silberkomponente waren. Das Gefüge dieses Bleches ähnelte dem in Abb. 1 gezeigten. Aus diesem Blech wurde ein Block gegossen, dessen Höhe und Breite 3,3 mm betrug. Es zeigt sich nun, daß beim Uebergang aus der durch das Schmelzen erreichten flüssigen in die feste Phase eine wesentliche Aenderung sowohl in der Größe als auch in der Form der Kristalle stattgefunden hat. In welcher Weise die Kristallbildung aus dem flüssigen Zustand erfolgt, habe ich schon in der Einleitung gesagt. Wir sehen jetzt ein außerordentlich großes, verzahnt ineinandergreifendes Gefüge, das diesmal nicht wie die vorherigen Präparate eine homogene Struktur zeigt, sondern als inhomogen anzusprechen ist. Während bei homogenen Mischkristallen an allen Stellen die gleiche prozentuale Zusammensetzung der Komponenten vorliegt, ist das bei inhomogenen nicht der Fall. Hier scheiden sich zuerst Kerne der höher schmelzenden Komponente aus, so daß der verbleibende Rest der Schmelze eine andere Zusammensetzung zeigt, als es nach dem Prozentgehalt der Legierung an seinen Bestandteilen angenommen werden muß. Es ist wahrscheinlich so, daß sich beim inhomogenen Kristall in diesem Fall zuerst Kupfer allein oder Kupfer und Gold ausscheidet. Der übrige Teil des Kristalls ist dann um so viel Prozent Kupfer bzw. Gold und Kupfer ärmer, als in dem zuerst ausgeschiedenen Kern enthalten ist. Diese inhomogenen Legierungen sind weniger resistent und neigen mehr zur Verfärbung als die homogenen. Im Schliffbild macht sich die Inhomogenität durch das Auftreten der sogenannten Wachstumskristalle oder Dendriten bemerkbar. Es sind dunkle oder punkt- und strichförmige Einschlüsse in dem Kristall und auf Abb. 3 deutlich erkennbar. Diese Inhomogenität tritt namentlich bei stark mit Kupfer legierten Metallen dann auf, wenn während des Abkühlungsprozesses nicht die Möglichkeit hinreichend starker

Diffusion gegeben war. Man bezeichnet diesen Zustand dann auch als den eines mangelnden Gleichgewichts. Diesen inhomogenen Zustand kann man nun in den homogenen oder Gleichgewichtszustand führen, wenn man das Metall längere oder kürzere Zeit bestimmten Temperaturen aussetzt. Auch unterhalb des Schmelzpunktes kann diese Diffusion vor sich gehen.

Abbildung 4.

4. Und so sehen wir auch auf Abb. 4, daß diese Dendriten verschwunden sind, nachdem das Material 3½ Stunden einer Temperatur von 750° ausgesetzt worden war. Diese Homogenisierung hätte in kürzerer Zeit erreicht werden können, wenn die Temperatur noch näher an dem Schmelzpunkt gelegen hätte. Beim ersten Versuch, wo ich dieselbe Temperatur jedoch nur eine Stunde anwandte, war die Diffusion noch nicht genügend, um die Wachstumskristalle verschwinden zu lassen. Wir sehen nun auf Abb. 4, daß trotz lang andauernder erheblicher Temperatureinwirkung keine Vergrößerung der Kristallbildung stattgefunden hat, sondern daß die Kristalle in der Größe gleichgeblieben sind. Mithin hat auch trotz dieser Wärmebehandlung eine Eigenschaftsänderung im Sinne einer Festigkeitsänderung des Metalles nicht stattgefunden.

Abbildung 5.

5. Der gegossene und homogenisierte Block wurde jetzt gehämmert und weiter zu Blech gewalzt. Die Stärke des Bleches betrug 0,8 mm, der Block war also um 75% heruntergewalzt. Während des Hämmerns und Walzens wurde nicht geglüht. Wir haben also ein rein kaltbearbeitetes Werkstück vor uns. Im Schliffbild (Abb. 5) sehen wir jetzt nicht etwa eine Streckung der Kristalle in der Walzrichtung, sondern bedingt durch das Hämmern und Walzen in verschiedenen Richtungen ist ein völliger Kornzerfall eingetreten. Objekte dergestalt bearbeitet weisen zwar bis zu einem gewissen Grad große Härte und gute elastische Eigenschaften auf, sie sind jedoch auch sehr spröde und neigen leicht zu Brüchen.

Abbildung 6.

6. Das in Abb. 5 wiedergegebene Blech wurde nun etwa fünf Minuten bei etwa 700° (Rotglut) geglüht. Es wurde also nach der kräftigen Kaltbearbeitung, die den völligen Kornzerfall bewirkt hatte, einer Warmbehandlung unterzogen. Den Erfolg dieser Bearbeitung zeigt das Schliffbild Abb. 6. Die Kristalle haben sich wieder zu orientieren begonnen und sind, da es sich auch hier wieder um einen Rekristallisationsvorgang handelt, zum Teil zu beträchtlicher Größe angewachsen.

Abbildung 7.

7. Aehnliche Verhältnisse zeigt Abb. 7. Ein Teil des Bleches der Abb. 5 wurde eingesägt, in die Schnittfläche Lot gelegt und dieses zum Schmelzen gebracht. Da auch hier wieder das ganze Objekt auf eine dem Schmelzpunkt des Lots (ungefähr 850°) entsprechende Temperatur erhitzt werden mußte, sehen wir zwar ebenfalls auf der rechten Seite des Bildes eine beginnende Orientierung der Kristalle, wenn auch nicht so ausgesprochen wie in Abb. 6. Denn dieses Präparat (Abb. 6) ist einer höheren Temperatur ausgesetzt worden, die auch dann weiter für längere Zeit gehalten wurde, als dies beim Löten der Fall war. Auf der linken Seite des Bildes ist ein verhältnismäßig kleines Gefüge des Lotes zu sehen. Dieses kleine Gefüge kommt dadurch zustande, daß der Abkühlungsprozeß wegen der schnellen Wärmeabgabe stark beschleunigt wurde, und infolgedessen das kleinkristalline Gefüge gezeitigt hat. Die strichförmige dunkle Stelle zwischen dem Lot links und dem Blech rechts ist entweder durch dort niedergeschlagene Oxyde hervorgerufen, oder aber es besteht auch die Möglichkeit, daß die dort stärker kalt beanspruchte Stelle dem Aetzangriff leicht unterliegt. Es ist sehr wohl möglich, daß der an dieser Stelle angesetzte Sägeschnitt diese im Verhältnis zu dem Teil weiter rechts gegebene größere Kaltbeanspruchung bedingt.

Abbildung 8.

8. Ein Teil des in Abb. 4 wiedergegebenen Blocks wurde unter Hämmern, Durchglühen, Abschrecken, Wiederglühen zu Draht gezogen. Der Durchmesser dieses Drahtes betrug 1,3 mm. Auch hier sehen wir (Abb. 8), daß das großkristallinisch gezahnte Gefüge einem kleinkristallinen, sich mit Flächen berührenden Platz gemacht hat. Durch diese angegebene Kalt- und Warmbearbeitung kommt es abwechselnd zur Streckung der Körner, zur völligen Zertrümmerung und Wiederanwachsen unter Rekristallisationserscheinungen, so daß schließlich ein Werkstück mit einem Gefüge, wie in Abb. 8 gezeigt, erscheint, das in seinen mechanischen Eigenschaften dem des Gußblockes (Abb. 4) überlegen ist.

Während die bisherigen Legierungen sogenannte ternäre waren, d. h. aus den Komponenten Gold-Kupfer-Silber aufgebaut, sind die folgenden Versuche mit einer quinären Legierung durchgeführt, d. h. einer Legierung, die außer den drei genannten Komponenten noch Platin und in geringer Menge Iridium enthält. Diese Legierung neigt im Durchschnitt zur Bildung eines feinkörnigeren Gefüges als die ternären, und man verwendet sie deshalb für subtile, der Beanspruchung stark ausgesetzte zahnärztliche Arbeiten. Die besseren mechanischen Eigenschaften dieser Legierung, namentlich ihre größere Bruchsicherheit, sind auch wieder durch die Feinkörnigkeit zu erklären. Man muß sich vorstellen, daß die in der Legierung ent-

haltenen Verunreinigungen sich an den Korngrenzen ablagern. Nun ist die Summe der Kristallflächen bei feinkörnigem Material größer als bei grobkörnigem. Bei gleicher Menge von Verunreinigungen in einer Legierung muß also bei einem feinkörnigen Material die Zwischenschicht dünner sein als bei grobkörnigem. Je dünner diese Zwischenschicht ist, um so weniger leicht wird ein Material in den Korngrenzen reißen.

Die im Jahre 1909 von Wilm gefundene Möglichkeit, die Festigkeitseigenschaften der Legierungen zu verändern, hat die Metallurgen bestimmt, auch nach Edelmetallegierungen zu suchen, die vergütbar, für zahnärztliche Zwecke Verwendung finden konnten. Solche Metalle sind gefunden worden und bedeuten eine wertvolle Bereicherung unseres Materialschatzes. Bei diesen Legierungen löst sich im allgemeinen bei höherer Temperatur ein Zusatzmetall in größerer Masse im Grundmetall als bei tieferen Temperaturen. Glüht man eine solche Legierung bei höheren Temperaturen und schreckt sie dann ab, so erhält man ein Mischkristallgefüge, das meist weich ist. Glüht man dann bei tiefen Temperaturen, bei welchen nach dem Zustandsschaubild zwei Phasen vorhanden sind, nach, so scheidet sich aus dem Mischkristall eine zweite Phase aus. Hierbei treten die bekannten Vergütungserscheinungen wie außerordentliche Steigerung der Härte usw. auf. In unserem speziellen Fall ist der sich ausscheidende Bestandteil nicht ein Zusatzmetall, sondern die chemische Verbindung Gold-Kupfer, die die günstigen Eigenschaften bedingt.

Abbildung 9.

9. Die Abb. 9 zeigt nun das Gefüge einer solchen vergütbaren Edelmetallegierung, wie sie unter dem Namen Orthallor in den Handel kommt. Es wurde zu diesem Präparat ein Stückchen Gold verwandt, wie wir es als Verarbeitungsmaterial von der Scheideanstalt beziehen. Dieses Plättchen in Stärke von 1,5 mm ist hartgewalzt ohne Zwischenglühen, darum erscheint auch hier wieder eine vollständige Kornzertrümmerung.

Abbildung 10.

10. Glüht man dieses hartgewalzte Plättchen längere Zeit bei höherer Temperatur, so erfolgt, da es ja vorher kalt beansprucht war, wieder eine Orientierung der Kristalle im Sinne der Einformung, wie es durch Abb. 10 anschaulich gemacht wird.

Abbildung 11.

11. Abb. 11 zeigt die Struktur des gegossenen Orthallors. Wir finden hier ein größeres Korn als in Abb. 10. Wegen der geringeren Neigung der platinhaltigen Golde, inhomogene Mischkristalle zu

bilden, finden wir hier einen homogenen Guß. Wir sehen aber auch, daß die Intensität der Kristallbildung erheblich schneller und größer ist, denn ein Vergleich mit Abb. 3 bzw. Abb. 4 zeigt sehr viel zahlreichere, aber auch sehr viel kleinere Kristalle.

Abbildung 12.

12. Wird nun dieser Guß vergütet, d. h. wird durch geeignete Wärmebehandlung Erhärtung durchgeführt, in diesem Falle nach vorheriger Erhitzung auf 750° und Abschrecken in Wasser, dann weiter eine nochmalige Erhitzung auf 350° während 20 Minuten Dauer, so finden wir zwar eine Festigkeitssteigerung, die sich aber diesmal nicht im Gefüge als solche kenntlich macht. Es handelt sich hier um die Ausscheidung einer intermetallischen Verbindung und um eine Aenderung der Raumgitteranordnung der Atome, die im Schliffbild nicht nachweisbar ist (Abb. 12).

Abbildung 13.

13. Der Gußblock der Abb. 12, um 30% heruntergewalzt, also kaltbearbeitet, läßt wieder den beginnenden Kornzerfall (Abb. 13) erkennen.

Abbildung 14.

14. Wird dasselbe Objekt nun vergütet, so findet nicht nur ein Anwachsen der Kristalle statt, sondern gleichzeitig auch eine Verfestigung des Materials (Abb. 14).

Zusammenfassung.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß nicht nur die Wahrung eines bestimmten Materials für den Enderfolg einer Arbeit ausschlaggebend ist, sondern daß auch die Behandlung des Stoffes nach der einen oder anderen Richtung die Eigenschaften weitgehend beeinflußt und daß diese Eigenschaften aus der Struktur zu erklären und im inneren Aufbau bedingt sind.

Die Abbildungen befinden sich in der Originalarbeit und können dort nachgesehen werden.

Es sei mir gestattet, an dieser Stelle Herrn Professor Dr. Falck für die Ueberlassung des Themas und die weitestgehende Unterstützung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Literatur.

Czochralski J.: Moderne Metallkunde. Verlag Jul. Springer, Berlin 1924.

Falck K.: Platin und seine Legierungen in der Zahnheilkunde. Festschrift der Platinschmelz G. Siebert, Nauen 1931.

Gürtler W.: Metalltechnischer Kalender, Gebr. Bornträger, Berlin 1925.

Schönbeck F.: Materialkunde der zahnärztlichen Technik. Verlag Meusser, Berlin 1922.

Schönbeck F.: Kurzer Leitfaden der zahnärztlichen Metallkunde. Verlag Meusser, Berlin 1931.

von Schwarz M.: Metallphysikalischer Verlag Joh. Ambros. Barth, Leipzig 1925.

Lebenslauf.

Am 12. Februar 1903 wurde ich als Sohn des Eisenbahnobersekretärs Albert Zerweck und seiner Ehefrau Anna, geb. Hahn, in Stuttgart geboren. Dort besuchte ich die Oberrealklassen der Reformschule Heidehof und legte 1918 das Einjährig-Freiwilligen-Examen ab. Ich ergriff dann den landwirtschaftlichen Beruf und war bis Oktober 1920 auf einem Gute auf der Schwäbischen Alb als Praktikant tätig. Ueber den Winter 1920/21 besuchte ich die Landwirtschaftliche Winterschule zu Ludwigsburg und trat darauf in der Domäne Neustadt i. Südharz als Volontär ein. Vom Wintersemester 1921/22 bis Sommersemester 1924 besuchte ich die Landwirtschaftliche Hochschule zu Hohenheim und München als ordentlicher Studierender. Im Sommersemester 1924 legte ich nach sechs Semester Studium mit Erfolg das Diplomexamen in Hohenheim ab. In Erfurt bereitete ich mich auf die Aufnahmeprüfung in die dortige städtische Oberrealschule vor, welche ich von 1926 bis 1928 besuchte und in derselben Schule im Frühjahr 1928 das Zeugnis der Reife erhielt. Infolge Aussichtslosigkeit in der Landwirtschaft entschloß ich mich, meinen Beruf zu wechseln und Zahnheilkunde zu studieren. Vom Sommersemester 1928 bis 1931 besuchte ich die Thüringische Landesuniversität Jena als ordentlicher Studierender der Zahnheilkunde. Ich bestand Ostern 1929 die für die Zulassung zur zahnärztlichen Vorprüfung nötige Ergänzungsprüfung in Latein, das sogenannte kleine Latinum, an dem Realgymnasium zu Erfurt und am Ende des Sommersemesters 1929 das zahnärztliche Vorexamen (Physikum) an der Universität Jena. Das Sommersemester 1930 hatte ich an der Friedrich-Wilhelm-Universität zu Berlin belegt. Nach einem Studium von sieben Semestern bestand ich am 29. Februar 1931 an der Thüringischen Landesuniversität Jena die zahnärztliche Staatsprüfung. Am 11. März 1932 wurde mir durch das Thüringische Volksbildungsministerium die Approbation als Zahnarzt erteilt. Nach der Staatsprüfung fertigte ich im Zahnärztlichen Institut der Bayerischen Ludwig-Maximilians-Universität zu München unter Anleitung von Herrn Professor Dr. Falck vorliegende Dissertation an.